

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **1.1 Teori Umum**

Proteksi adalah pengaman listrik pada sistem tenaga listrik yang terpasang pada sistem distribusi tenaga listrik. Tujuan utama dari suatu sistem tenaga listrik adalah untuk memberikan tingkat kontinuitas pelayanan yang tinggi. Dan apabila terjadi keadaan yang tidak dapat di tolerir, maka sistem harus mampu meminimalisasi waktu gangguan. Apabila terjadi kehilangan daya, beban lebih (*over load*) yang dapat terjadi oleh beberapa sebab, seperti kegagalan peralatan, gangguan alam, kesalahan operasi, dan sebagainya yang dapat menyebabkan gangguan dapat diminimalisasi.

Seperti biasanya, pada suatu keadaan bentuk kerja apapun suatu sistem tidak dapat bekerja dengan baik selama umur operasi sudah tentu akan mengalami gangguan atau kesalahan. Gangguan tersebut diantaranya adalah hubung singkat yang menimbulkan efek kenaikan arus secara berlebihan merupakan dasar penggunaan peralatan proteksi arus lebih yang ditempatkan pada jaringan tenaga listrik tersebut.

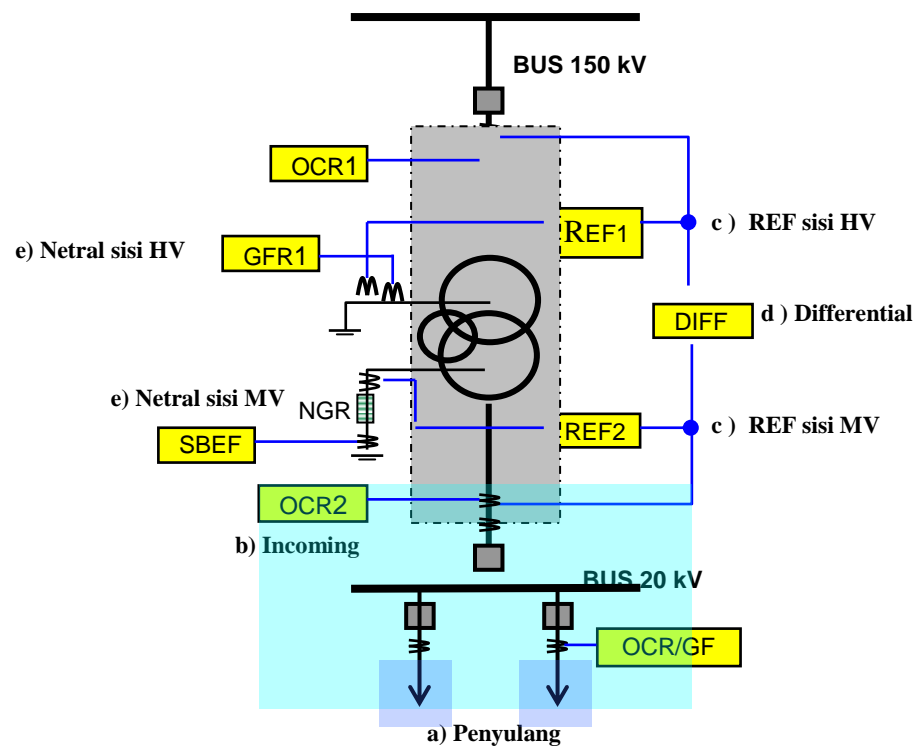
Karena adanya kemungkinan timbul gangguan pada jaringan tenaga listrik tersebut, maka timbul suatu pemikiran bagaimana memproteksi suatu jaringan yang ada sehingga apabila terjadi gangguan dapat diatasi. Adapun cara pencegahannya yaitu dengan pemasangan suatu alat proteksi yang merupakan cara-cara mengamankan suatu jaringan tenaga listrik terhadap gangguan yang akan terjadi. Oleh karena itu, peranan suatu proteksi sangatlah penting, dimana faktor keandalan dalam memperbaiki dengan pengaturan pengaman yang tepat, sehingga jika terjadi suatu gangguan proteksi tersebut dapat mencegah atau membatasi kerusakan dan memperkecil efek-efeknya terhadap sistem yang sehat.

(6)

## 1.2 Sistem Proteksi

### 1.2.1 Pembagian daerah proteksi

Suatu sistem tenaga listrik dibagi ke dalam seksi-seksi yang dibatasi oleh PMT. Tiap seksi memiliki relai pengaman dan memiliki daerah pengamanan (*Zone of Protection*). Bila terjadi gangguan, maka relai akan bekerja mendeteksi gangguan dan PMT akan trip. Gambar 2.1 berikut ini dapat menjelaskan tentang konsep pembagian daerah proteksi.<sup>(2)</sup>



Gambar 2.1 Skema Sistem Proteksi pada Transformator dan Penyalang<sup>(6)</sup>

Pada gambar 2.1 di atas dapat dilihat bahwa daerah proteksi pada sistem tenaga listrik dibuat bertingkat dimulai dari pembangkitan, gardu induk, saluran distribusi primer sampai ke beban. Garis putus-putus menunjukkan pembagian sistem tenaga listrik ke dalam beberapa daerah proteksi. Masing-masing daerah memiliki satu atau beberapa komponen sistem daya disamping dua buah pemutus rangkaian. Setiap pemutus dimasukkan ke dalam dua daerah proteksi berdekatan.

Batas setiap daerah menunjukkan bagian sistem yang bertanggung jawab untuk memisahkan gangguan yang terjadi di daerah tersebut dengan sistem lainnya. Aspek penting lain yang harus diperhatikan dalam pembagian daerah proteksi adalah bahwa daerah yang saling berdekatan harus saling tumpang tindih (*overlap*), hal ini dimaksudkan agar tidak ada sistem yang dibiarkan tanpa perlindungan. Pembagian daerah proteksi ini bertujuan agar daerah yang tidak mengalami gangguan tetap dapat beroperasi dengan baik sehingga dapat mengurangi daerah terjadinya pemadaman.

### **1.2.2 Pengelompokkan sistem proteksi**

Berdasarkan daerah pengamanannya sistem proteksi dibedakan menjadi :

- a. Proteksi pada Generator
- b. Proteksi pada Transformator
- c. Proteksi pada Transmisi
- d. Proteksi pada Distribusi

### **1.2.3 Pembagian tugas dalam sistem proteksi**

Dalam sistem proteksi pembagian tugas dapat diuraikan menjadi :

- a. Proteksi utama, berfungsi untuk mempertinggi keandalan, kecepatan kerja, dan fleksibilitas sistem proteksi dalam melakukan proteksi terhadap sistem tenaga.
- b. Proteksi pengganti, Berfungsi jika proteksi utama menghadapi kerusakan untuk mengatasi gangguan yang terjadi.
- c. Proteksi tambahan, berfungsi untuk pemakaian pada waktu tertentu sebagai pembantu proteksi utama pada daerah tertentu yang dibutuhkan.

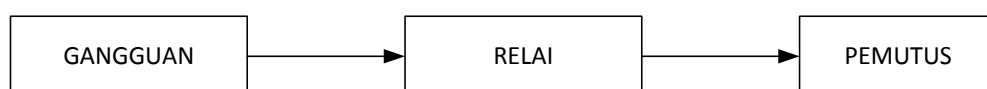
### **1.2.4 Komponen Peralatan Proteksi**

Seperangkat peralatan/ komponen proteksi utama berdasarkan fungsinya dapat dibedakan menjadi :

- a. Relai Proteksi
- b. Pemutus tenaga (PMT) : Sebagai pemutus arus untuk mengisolir sirkuit yang terganggu.
- c. Transducer yang terdiri dari sumber daya pembantu :
  - 1) Transformator Arus : Meneruskan arus ke sirkuit relai.
  - 2) Transformator Tegangan : Meneruskan tegangan ke sirkuit relai
- d. Baterai : Sebagai sumber tenaga untuk mentripkan PMT dan catu daya untuk relai statis dan alat bantu.

### 1.2.5 Relai proteksi

Relai proteksi adalah sebuah peralatan listrik yang dirancang untuk mendeteksi bila terjadi gangguan atau sistem tenaga listrik tidak normal. Relai pengaman merupakan kunci kelangsungan kerja dari suatu sistem tenaga listrik, dimana gangguan segera dapat dilokalisasi dan dihilangkan sebelum menimbulkan akibat yang lebih luas. Gambar 2.2 berikut menggambarkan diagram blok urutan kerja relai pengaman.



Gambar 2.2 Diagram Blok Urutan Kerja Relai Pengaman<sup>(2)</sup>

Relai pengaman mempunyai tiga elemen dasar yang bekerja saling terkait untuk memutuskan arus gangguan. Ketiga elemen dasar tersebut dapat dijelaskan dijelaskan sebagai berikut :

- a. elemen perasa (*sensing element*)

Berfungsi untuk merasakan atau mengukur besaran arus, tegangan, frekuensi atau besaran lainnya yang akan diproteksi.

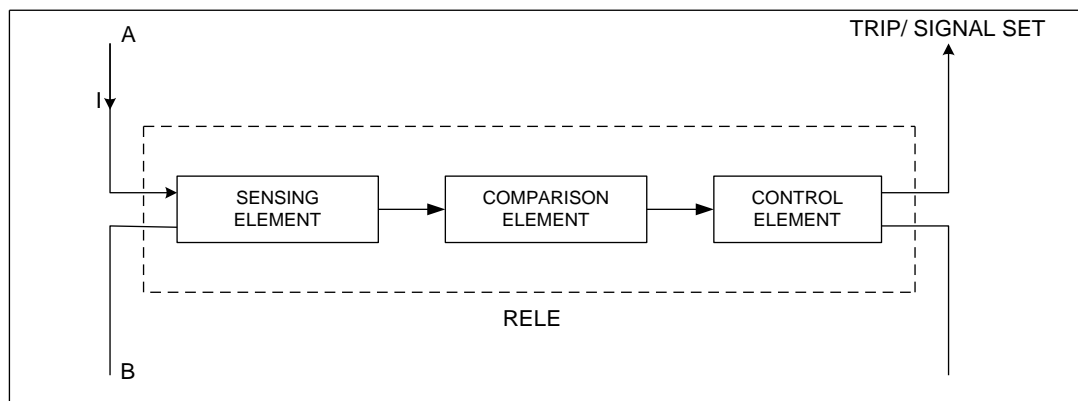
b. elemen pembanding (*comparison element*)

Berfungsi untuk membandingkan arus yang masuk ke relai pada saat ada gangguan dengan arus *setting* tersebut.

c. elemen kontrol (*control element*)

Berfungsi mengadakan perubahan dengan tiba-tiba pada besaran kontrol dengan menutup arus operatif.

Ketiga elemen dasar relai proteksi di atas dapat dijelaskan oleh gambar 2.3 di bawah ini :



Gambar 2.3 Diagram Blok Elemen Relai Pengaman<sup>(2)</sup>

### 1.2.6 Fungsi relai proteksi

Fungsi relai proteksi pada suatu sistem tenaga listrik antara lain :

- Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankannya.
- Melepaskan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya dapat terus beroperasi.
- Memberitahu operator tentang adanya gangguan dan lokasinya.

Atau dengan kata lain fungsi dari suatu sistem proteksi adalah :

- a. Meminimalisasikan lamanya gangguan
- b. Mengurangi kerusakan yang mungkin timbul pada alat atau sistem.
- c. Melokalisir meluasnya gangguan pada sistem.
- d. Pengamanan terhadap manusia.

Dalam menjalankan suatu sistem relai maka kita harus memperhatikan faktor-faktor yang dibutuhkan agar suatu sistem relai dapat bekerja dengan baik. Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam suatu sistem relai adalah :

- a. keandalan (*reliability*)

Keandalan mempunyai dua aspek, yakni :

1. *Dependability*, yang diartikan sebagai derajat kepastian bahwa relai atau sistem relai akan beroperasi dengan benar,
2. *Security*, yang diartikan sebagai derajat kepastian bahwa relai atau sistem relai tidak beroperasi dengan salah.

Dengan kata lain, *dependability* menunjukkan kemampuan sistem untuk tidak beroperasi saat kondisi normal atau gangguan di luar zona operasinya.

Kesalahan operasi dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu :

1. Kesalahan desain,
2. Kesalahan instalasi,
3. *Deterioration in service*.

- b. selektivitas (*selectivity*)

Selektivitas yang juga dikenal sebagai koordinasi relai adalah proses penggunaan dan penyetelan relai proteksi yang bekerja *over-reach* terhadap relai lain, sehingga relai harus beroperasi secepat mungkin pada zona utama, tapi harus menunda operasinya di daerah cadangan operasi. Sifat ini dapat dicapai dengan metode :

1. *Time graded system*

2. *Unit system*

Hal ini diperlukan agar relai utama dapat beroperasi pada daerah cadangan atau *over-reach*. Kedua adalah tidak benar dan tidak diperkenankan kecuali proteksi utama dari daerah tersebut tidak beroperasi. Jadi selektivitas sangatlah penting untuk menjamin kelangsungan pelayanan maksimum dengan pemutusan minimum.

- c. kecepatan operasi (*speed of operation*)

Kenyataan bahwa suatu sistem proteksi harus mampu bekerja mengisolir area yang mengalami gangguan secepat mungkin. Pada suatu sistem tegangan menengah, dimana koordinasi antara relai sangat dibutuhkan dengan wakturelai sedikit lebih lambat. Tipe operasi relai untuk tegangan menengah antara 0,2 detik sampai 1,5 detik. Jadi kecepatan itu penting, tapi tidak selalu dibutuhkan. Tapi pada sistem pembangkitan dan tegangan tinggi diperlukan proses pelepasan yang sangat cepat.

- d. kesederhanaan (*simplicity*)

Relai proteksi harus disusun sederhana mungkin dan tetap mampu bekerja sesuai dengan tujuannya. Penambahan unit atau komponen yang mungkin meningkatkan proteksi namun tidak terlalu penting dalam sistem harus dipertimbangkan dengan seksama. Setiap tambahan akan menambah sumber masalah dan tambahan pemeliharaan. Peningkatan solid state dan teknologi digital dalam sistem proteksi menghasilkan kemungkinan yang lebih baik dalam peningkatan keunggulan sistem.

- e. ekonomis (*economic*)

Sangat penting untuk menghasilkan suatu sistem proteksi yang memiliki perlindungan maksimum dengan biaya minimum. Harga rendah tidak menjamin sistem tersebut handal atau sebaliknya. Investasi awal yang rendah dari sistem ini menyebabkan kesulitan dalam instalasi dan operasi serta memerlukan biaya perawatan yang mahal. Sistem proteksi pertimbangannya

adalah besar biaya dari peralatan sistem yang dilindungi dan biaya harus dikeluarkan atau hilang akibat gangguan, maka sistem proteksi akan lebih murah.

### 1.3 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam jaringan (sistem kelistrikan) ada 3, yaitu:

- a. Gangguan hubung singkat 3 fasa
- b. Gangguan hubung singkat 2 fasa, dan
- c. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Dari ketiga macam gangguan hubung singkat di atas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus umum (hukum ohm) yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (2.1)^{(7)}$$

Dimana : I = Arus yang mengalir pada hambatan Z.

V= Tegangan sumber ( Volt ).

Z= Impedansi jaringan, nilai ekivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan ( $\Omega/\text{km}$ ).

Dengan mengetahui besarnya tegangan sumber dan besarnya nilai impedansi tiap komponen jaringan serta bentuk konfigurasi jaringan di dalam sistem, maka besarnya arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan rumus di atas.

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan, impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut :



Z untuk gangguan 3 fasa  $Z = Z_1$

Z untuk gangguan 2 fasa  $Z = Z_1 + Z_2$

Dimana:  $Z_1$  = Impedansi urutan positif 3 fasa

$Z_2$  = Impedansi urutan negatif 2 fasa

Perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah analisa suatu sistem tenaga listrik pada saat dalam keadaan gangguan hubung singkat, dimana nantinya akan diperoleh besar nilai besaran – besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut. Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatandasar isolasi (*basic insulation strength*) antara sesama kawat fasa, atau antara kawat fasa dengan tanah, yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan atau biasa juga disebut gangguan arus lebih.<sup>(7)</sup>

Perhitungan arus gangguan hubung singkat sangat penting untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik pada waktu perencanaan maupun setelah beroperasinya. Perhitungan arus hubung singkat dibutuhkan untuk :

- a. *Setting* dan koordinasi peralatan proteksi
- b. Menentukan kapasitas alat pemutus daya
- c. Menentukan rating hubung singkat peralatan – peralatan yang digunakan
- d. Menganalisa sistem jika ada hal – hal yang tidak baik yang terjadi pada waktu sistem sedang beroperasi

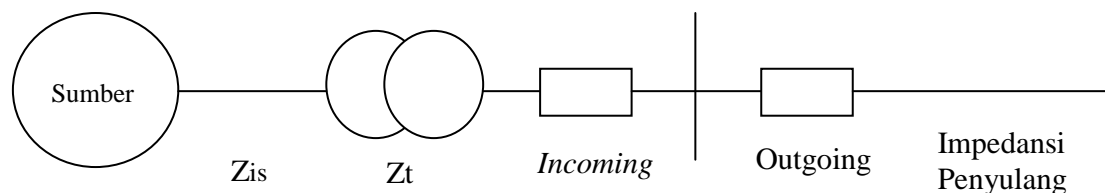
Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat pada sistem seperti diatasdilakukan dengan beberapa tahap perhitungan, yaitu sebagai berikut :

### 1.3.1 Menghitung impedansi

Dalam menghitung impedansi dikenal tiga macam impedansi urutan yaitu:

- a. Impedansi urutan positif (  $Z_1$  ), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif.
- b. Impedansi urutan negatif (  $Z_2$  ), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif.

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka kita harus memulai perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik–titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu induk tersebut. Untuk itu diperlukan pengetahuan mengenai dasar impedansi urutan rel daya tegangan tinggi atau bisa juga disebut sebagai impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang.



Gambar 2.4 Sketsa Penyulang Tegangan Menengah<sup>(1)</sup>

Dimana :  $Z_{is}$  = Impedansi sumber (ohm)  
 $Z_{it}$  = Impedansi Transformator (ohm)

a. impedansi sumber

Untuk menghitung impedansi sumber maka data yang diperlukan adalah data hubung singkat pada bus primer transformator.

$$Z_{is} = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots (2.2)^{(4)}$$

Dimana :  $Z_{is}$  = Impedansi sumber (ohm)

$kV^2$  = Tegangan sisi primer transformator tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya transformator tenaga (MVA)

Perlu diingat bahwa impedansi sumber ini adalah nilai ohm pada sisi 70 kV, karena arus gangguan hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat di sisi 20 kV, maka impedansi sumber tersebut harus dikonversikan dulu ke sisi 20 kV, sehingga pada perhitungan arus gangguan nanti sudah menggunakan sumber 20 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 70 KV, dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$Z_{is}(\text{sisi } 20 \text{ kV}) = \frac{kV^2}{MVA} \times Z_{is}(\text{sisi } 70 \text{ kV}) \dots\dots\dots (2.3)^{(4)}$$

b. menghitung impedansi transformator

$$Z_{it}(\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA(\text{trafo})} \dots\dots\dots (2.4)^{(4)}$$

Dimana :  $Z_{it}$  = Impedansi transformator (ohm)

$kV^2$  = Tegangan sisi sekunder transformator tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya transformator tenaga (MVA)

Nilai Impedansi urutan positif, negatif ( $Z_{it1} = Z_{it2}$ ) transformator tenaga :

$$Z_{it} = Z_{it} \% \times Z_{it}(\text{pada } 100\%) \dots\dots\dots (2.5)^{(4)}$$

c. menghitung impedansi penyulang

Menghitung impedansi penyulang, impedansi penyulang ini dihitung tergantung dari besarnya impedansi per meter penyulang yang bersangkutan, dimana besar nilainya ditentukan dari konfigurasi tiang yang digunakan untuk jaringan SUTM atau dari jenis kabel tanah untuk jaringan SKTM. Dalam perhitungan disini diambil dengan impedansi  $Z = (R + jX)$ .

Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan yang dalam perhitungan ini disimulasikan terjadi pada lokasi dengan jarak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang.

Untuk impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_1/Z_2 \dots\dots\dots (2.6)^{(4)}$$

Dimana :  $Z_1$  = Impedansi urutan positif (ohm)

$Z_2$  = Impedansi urutan negatif (ohm)

Dimana dalam Laporan Akhir ini panjang penyulang diasumsikan terhadap jalur terpanjang pada penyulang.<sup>(5)</sup>

#### d. menghitung impedansi ekivalen jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan di sini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekivalen positif, negatif, dan nol dari titik gangguan sampai ke sumber. Karena dari sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri maka perhitungan  $Z_{1eq}$  dan  $Z_{2eq}$  dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut. Sehingga untuk impedansi ekivalen jaringan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1 \text{ penyulang} \dots\dots\dots (2.7)^{(4)}$$

Dimana :  $Z_{1eq}$  = Impedansi ekivalen jaringan urutan positif (ohm)

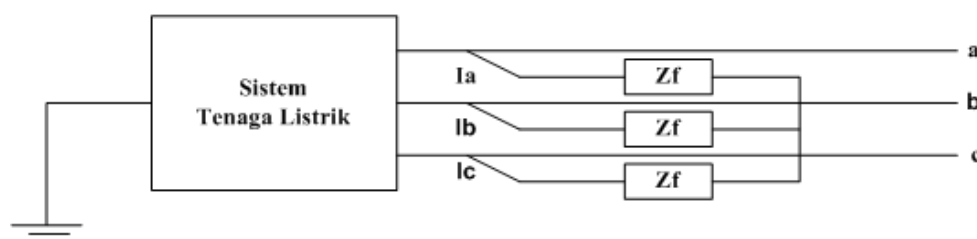
$Z_{2eq}$  = Impedansi ekivalen jaringan urutan negatif (ohm)

$Z_{s1}$  = Impedansi sumber sisi 20 kV (ohm)

$Z_{t1}$  = Impedansi transformator tenaga urutan positif dan negatif (ohm)

$Z_1$  = Impedansi urutan positif dan negatif (ohm)

### 1.3.2 Gangguan hubung singkat 3 fasa



Gambar 2.5 Gangguan hubung singkat 3 fasa<sup>(1)</sup>

Kemungkinan terjadinya gangguan 3 fasa adalah putusnya salah satu kawat fasa yang letaknya paling atas pada transmisi atau distribusi, dengan konfigurasi kawat antar fasanya disusun secara vertikal. Kemungkinan terjadinya memang sangat kecil, tetapi dalam analisisnya tetap harus diperhitungkan. Kemungkinan lain adalah akibat pohon yang cukup tinggi dan berayun sewaktu angin kencang, kemudian menyentuh ketiga kawat pada transmisi atau distribusi.

Gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar hukum ohm (persamaan 2.1), sehingga arus hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

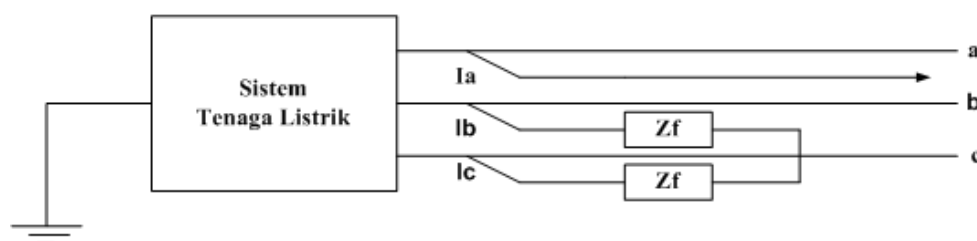
$$I_{3 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} \dots \dots \dots (2.8)^{(4)}$$

Dimana :  $I_{3 \text{ fasa}}$  = Arus gangguan hubung singkat 3 fasa (A)

$V_{ph}$  = Tegangan fasa-netral sistem 20 kV =  $\frac{20.000}{\sqrt{3}}$  V

$Z_{1eq}$  = Impedansi ekivalen urutan positif (ohm)

### 1.3.3 Gangguan hubung singkat 2 fasa



Gambar 2.6 Gangguan hubung singkat 2 fasa<sup>(1)</sup>

Kemungkinan terjadinya gangguan 2 fasa disebabkan oleh putusnya kawat fasa tengah pada transmisi atau distribusi. Kemungkinan lainnya adalah dari rusaknya

isolator di transmisi atau distribusi sekaligus 2 fasa. Gangguan seperti ini biasanya mengakibatkan 2 fasa ke tanah.

Gangguan hubung singkat 2 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar hukum ohm (persamaan 2.1), sehingga arus hubung singkat dua fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{2 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_1eq + Z_2eq} \dots\dots\dots (2.9)^{(4)}$$

Karena  $Z_1eq = Z_2eq$ , maka :

$$I_{2 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{2.Z_1eq} \dots\dots\dots (2.10)^{(4)}$$

Dimana :  $I_{2 \text{ fasa}}$  = Arus gangguan hubung singkat 2 fasa (A)

$V_{ph-ph}$  = Tegangan fasa-fasa sistem 20 kV = 20.000 V

$Z_1eq$  = Impedansi ekivalen urutan positif (ohm)

## 1.4 Relai Arus Lebih

### 1.4.1 Pengertian relai *over current relay* (OCR)

Relai arus lebih atau yang lebih dikenal dengan OCR (*Over Current Relay*) merupakan peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau overload yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya.

Relai arus lebih ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik, lebih lanjut relai ini dapat digunakan sebagai pengaman utama ataupun pengaman cadangan.

Pada transformator tenaga, OCR hanya berfungsi sebagai pengaman cadangan (*back up protection*) untuk gangguan eksternal atau sebagai *back up*

bagi *outgoing feeder*. OCR dapat dipasang pada sisi tegangan tinggi saja, atau pada sisi tegangan menengah saja, atau pada sisi tegangan tinggi dan tegangan menengah sekaligus. Selanjutnya OCR dapat menjatuhkan PMT pada sisi dimana relai terpasang atau dapat menjatuhkan PMT di kedua sisi transformator tenaga. OCR jenis *defenite time* ataupun *inverse time* dapat dipakai untuk proteksi transformator terhadap arus lebih.<sup>(1)</sup>

Sebagai pengaman Transformator tenaga dan SUTT bertujuan untuk :

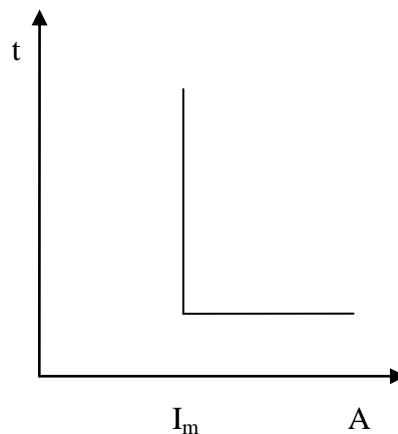
- Mencegah kerusakan transformator tenaga atau SUTT dari gangguan hubung singkat.
- Membatasi luas daerah terganggu (pemadaman) sekecil mungkin.
- Hanya bekerja bila pengaman utama transformator tenaga atau SUTT tidak bekerja.

#### 1.4.2 Jenis relai berdasarkan karakteristik waktu

Berdasarkan karakteristik waktu, relai dapat dibedakan sebagai berikut :

- relai arus lebih sesaat (*instantaneous*)

Adalah relai arus lebih yang tidak mempunyai waktu tunda / waktu kerja sesaat. Relai bekerja pada gangguan yang paling dekat dengan lokasi dimana relai terpasang atau dibedakan berdasarkan level gangguan secara lokasi sistem.

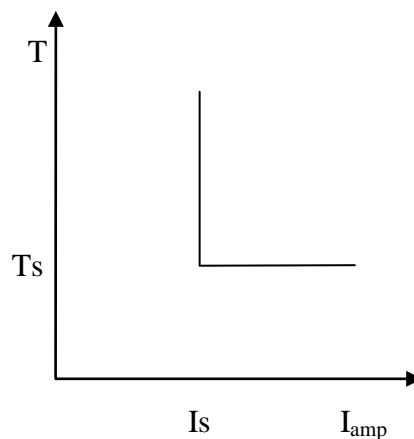


Gambar 2.7 Karakteristik Waktu Seketika (Instantaneous)<sup>(1)</sup>

Relay yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, relay akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Dapat kita lihat pada gambar (2.7).

b. relai arus lebih definite (*definite time*)

Adalah relai dimana waktu tundanya tetap, tidak tergantung pada besarnya arus gangguan. Jika arus gangguan telah melebihi arus *settingnya* berapapun besarnya arus gangguan relai akan bekerja dengan waktu yang tetap. Relay ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya ( $I_s$ ), dan jangka waktu kerja relay mulai pick up sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu ( $T_s$ ) tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relay, dapat dilihat pada gambar (2.8) dibawah ini.

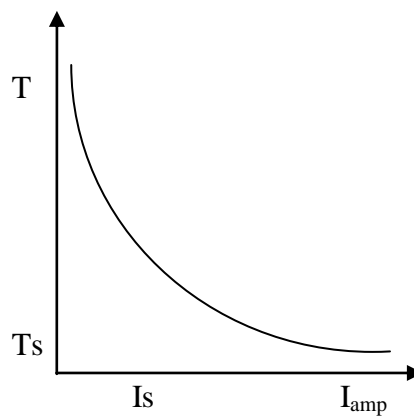


Gambar 2.8 Karakteristik Waktu Tertentu (Definite)<sup>(1)</sup>



c. relai arus lebih inverse (*inverse time*)

Adalah relai dimana waktu tundanya mempunyai karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Jadi semakin besar arus gangguan maka waktu kerja relai akan semakin cepat, arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja relai. Dapat dilihat pada gambar (2.9) dibawah ini.



Gambar 2.9 Karakteristik Waktu Terbalik (Inverse)<sup>(1)</sup>

Pada relai jenis ini karakteristik kecuraman waktu – arus dikelompokkan menjadi :

1. *Normal Inverse*
2. *Very Inverse*
3. *Long Inverse*
4. *Extremly Inverse*

#### 1.4.3 Koordinasi penyetelan *over current relay* (OCR)

Berikut dijelaskan mengenai koordinasi penyetelan relai sesuai dengan standar PT.PLN (Persero) P3B Sumatera Bidang Transmisi Sub Bidang Proteksi Scadatel Padang, 2008 Kaidah Setelan OCR meliputi Pertimbangan teknis dalam setelan OCR yaitu :

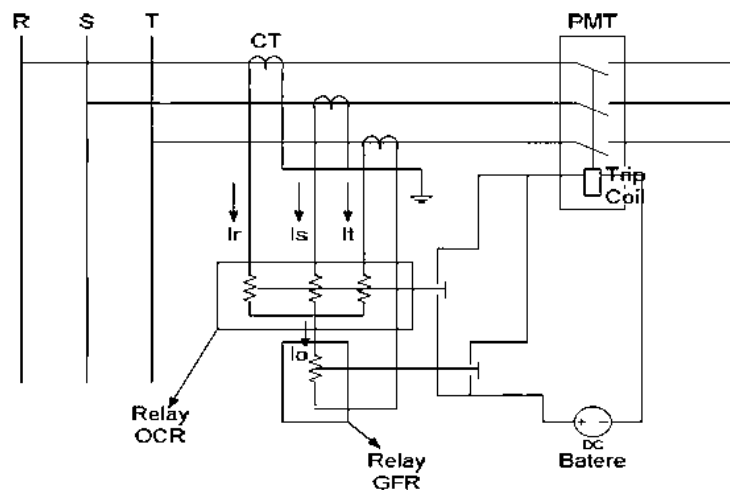
Tabel 2.1 Batasan Setelan OCR Transformator <sup>(5)</sup>

Uraian	Penyulang	Incoming trf	Sisi hv truf
Jenis Karakteristik	OCR SI	OCR SI	OCR SI
Setelan arus	$(1.0 - 1.2) \times \text{inct}$ $(1.0 - 1.2) \times \text{ccc}^*)$	$(1.0 - 1.2) \times \text{in trf mv}$ $(1.0 - 1.2) \times \text{ccc}^{**})$	$(1.0 - 1.2) \times \text{xintrfm}$ (hv)
Waktu kerja (hs phasa- phasa di bus 20 kv)	0.2 - 0.4 detik	0.7 - 1.0 detik	1.2 - 1.6 detik

\*) pilih yang terkecil.

\*\*) tidak lebih kecil dari arus gangguan di bus gh terdekat.

#### 1.4.4 Prinsip kerja over current relay (OCR)

Gambar 2.10 Rangkaian pengawatan *Over Current Relay* (OCR)<sup>(1)</sup>

Prinsip kerja relai OCR adalah berdasarkan adanya arus lebih yang dirasakan relai, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau *overload*

(beban lebih) untuk kemudian memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya.

Cara kerjanya dapat diuraikan sebagai berikut :

- a. Pada kondisi normal arus beban ( $I_b$ ) mengalir pada SUTM / SKTM dan oleh transformator arus besaran arus ini di transformasikan ke besaran sekunder ( $I_r$ ). Arus ( $I_r$ ) mengalir pada kumparan relai tetapi karena arus ini masih lebih kecil daripada suatu harga yang ditetapkan (*setting*), maka relai tidak bekerja.
- b. Bila terjadi gangguan hubung singkat, arus ( $I_b$ ) akan naik dan menyebabkan arus ( $I_r$ ) naik pula, apabila arus ( $I_r$ ) naik melebihi suatu harga yang telah ditetapkan (diatas *setting*), maka relai akan bekerja dan memberikan perintah trip pada *tripping coil* untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga SUTM /SKTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan.

#### 1.4.5 Menghitung *setting over current relay* (OCR)

- a. arus *setting* OCR pada penyulang

Untuk menghitung nilai *setting* arus lebih dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

Nilai *setting* relai penyulang 20 kV diambil berdasarkan tabel (2.1)<sup>(5)</sup>

$$I_{set}(\text{primer}) = (1,0 \sim 1,2) \times I_{\text{beban}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Nilai *setting* tersebut adalah nilai primer. Untuk mendapatkan nilai *setting* sekunder yang dapat disetkan pada *Over Current Relay* ( OCR ), maka dihitung dengan menggunakan data ratio transformator arus yang terpasang di penyulang yaitu sebagai berikut :

$$I_{set}(\text{sek}) = I_{set}(\text{primer}) \times \frac{1}{\text{Ratio}_{CT}} \dots\dots\dots (2.12)^{(4)}$$

- b. *setting* waktu / *time multiple setting* (Tms) pada penyulang

*Setting* waktu standar inverse dihitung dengan menggunakan rumus kurva waktu terhadap Arus. Rumus ini bermacam – macam sesuai desain pabrik pembuat relai, dalam hal ini diambil rumus kurva waktu terhadap arus dari standard British, sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14 \times Tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \dots\dots\dots (2.13)^{(4)}$$

Untuk menentukan nilai Tms yang akan disetting pada *Over Current Relay* (OCR) diambil pada angka arus gangguan (Ifault) sebesar arus gangguan 3 fasa pada lokasi gangguan berapa persen dari panjang penyulang dan waktu kerja *Over Current Relay* (OCR) di penyulang itu (sesuai keterangan waktu tercepat di atas) misal diambil selama 0.3 detik, maka nilai Tms yang akan disetkan pada *Over Current Relay* (OCR) adalah :

$$Tms = \frac{tx \left( \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \dots\dots\dots (2.14)$$

c. arus *setting* OCR pada sisi *incoming* 20 kV

Untuk menentukan *setting* relai arus lebih di sisi *incoming* 20 kV transformator, perlu dihitung terlebih dahulu arus nominal transformator tenaga itu yang datanya sesuai yang harus diketahui adalah Kapasitas, Tegangan, Impedansi, Ratio CT.

Arus nominal transformator pada sisi 20 KV :

$$In \text{ ( sisi 20 kV )} = \frac{kVA}{kV \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.15)^{(4)}$$

$$Iset \text{ (primer)} = (1,0 \sim 1,2) \times I_{beban} \dots\dots\dots (2.16)^{(4)}$$

Nilai *setting* tersebut adalah nilai primer. Untuk mendapatkan nilai *setting* sekunder yang dapat disetkan pada *Over Current Relay* (OCR), maka harus di hitung dengan menggunakan data rasio transformator arus yang terpasang di *incoming* 20 kV tersebut yaitu sebagai berikut :

$$Iset \text{ (sekunder)} = Iset \text{ (primer)} \times \frac{1}{RatioCT} \dots\dots\dots (2.17)^{(4)}$$

d. *setting* waktu / *time multiple setting* (Tms) pada sisi *incoming* 20 kV

*Setting* waktu relai standar inverse dengan menggunakan rumus kurva waktu terhadap arus dalam hal ini juga diambil dari standar British, maka rumusnya :

$$t = \frac{0,14 \times Tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \dots\dots\dots (2.18)^{(4)}$$

Karena Tms *Over Current Relay* (OCR) di penyulang yang akan *disetting* pada *Over Current Relay* (OCR) nya diambil pada angka arus gangguan ( $I_{fault}$ ) sebesar arus gangguan 3 fasa pada lokasi gangguan sebesar berapa persen dari panjang penyulang, maka perhitungan menentukan nilai Tms arus lebih di *incoming* juga harus berdasarkan besar arus gangguan hubung singkat 3 fasa dilokasi berapa persen dari panjang penyulang juga.

Untuk itu, nilai Tms yang akan *disetting* pada relai arus lebih di *incoming* 20 kV dihitung dengan menggunakan rumus yang sama :

$$Tms = \frac{tx \left( \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana t = waktu *setting Over Current Relay* (OCR) penyulang + waktu koordinasi

Nilai *setting* Tms yang didapat masih harus diuji lagi dengan arus gangguan yang lain seperti arus gangguan hubung singkat untuk lokasi gangguan 3 fasa yang terjadi di lokasi lain misalnya pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang. Demikian juga untuk jenis gangguan hubung singkat 2 fasa yang besar arus gangguannya juga sudah dihitung.

Untuk penyulang lain dapat diulangi perhitungan seperti yang sudah dilakukan tetapi data yang dimasukkan bedanya hanya pada data penyulang, baik nilai impedansi per km nya atau panjangnya.

Tabel 2.2. Karakteristik Setelan Waktu Relai Arus Lebih<sup>(1)</sup>

No	Karakteristik	Rumus
1	<i>Standard Inverse</i>	$t = \frac{0,14}{I^{0,02}-1} \text{ tms}$
2	<i>Very Inverse</i>	$t = \frac{13,5}{I-1} \text{ tms}$
3	<i>Extreemely Inverse</i>	$t = \frac{80}{I^2-1} \text{ tms}$
4	<i>Long Time Inverse</i>	$t = \frac{120}{I-1} \text{ tms}$

#### 1.4.6 Pemeriksaan selektifitas kerja OCR

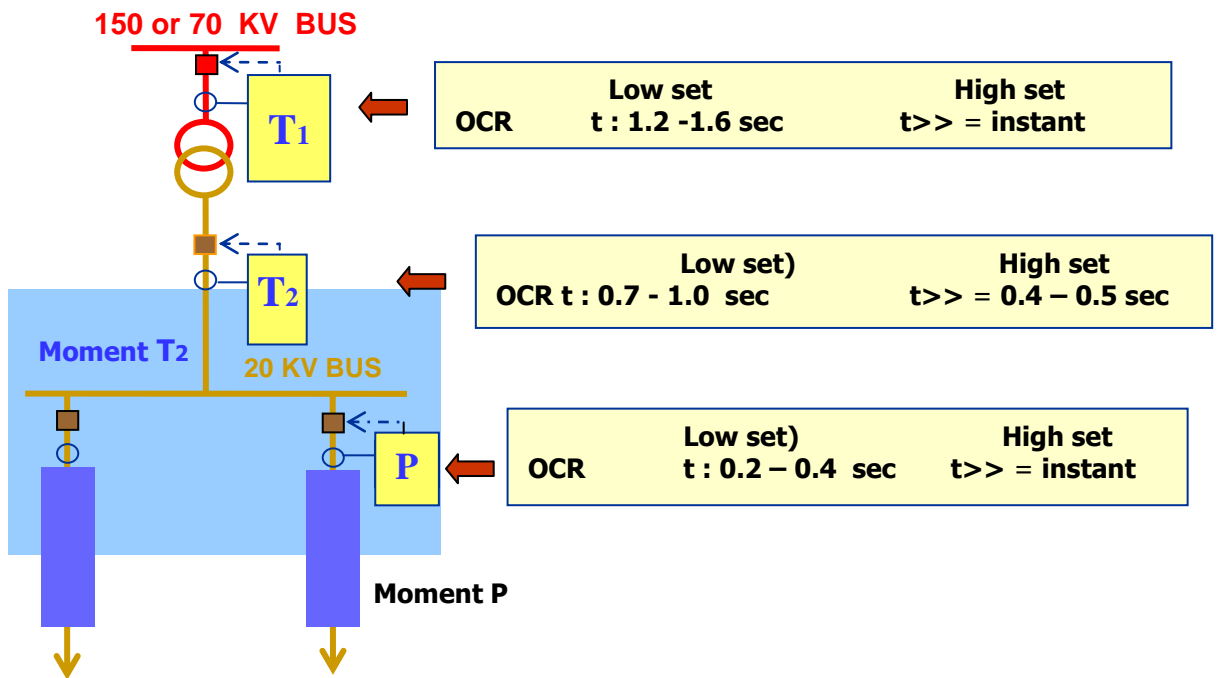
Hasil perhitungan *setting Over Current Relay* (OCR) yang didapat pada BAB IV masih harus diperiksa apakah untuk nilai arus gangguan hubung singkat yang lain, waktu kerja *Over Current Relay* (OCR) yang terpasang di penyulang dan yang terpasang di *incoming* transformator tenaga 20 kV sudah bekerja selektif, tetapi masih harus diperiksa apakah memberikan beda waktu kerja (*gradding time*) yang terlalu lama.

Untuk *gradding time* yang terlalu lama, bila terjadi kegagalan kerja *Over Current Relay* (OCR) di penyulang, maka *Over Current Relay* (OCR) di *incoming* 20 kV dalam hal ini bekerja sebagai pengaman cadangan menjadi terlalu lama mengetriapkan PMTnya sehingga bisa merusak transformator.

Pemeriksaan ini dilakukan terutama pada *Over Current Relay* (OCR) jenis standar inverse, karena *setting* waktu Tms pada *Over Current Relay* (OCR) jenis inverse bukan menunjukkan lamanya waktu kerja relai tersebut. Lamanya waktu kerja relai ini ditentukan oleh besarnya arus gangguan yang mengalir di relai. Makin besar arus gangguan yang mengalir di relai, makin cepat kerja relai tersebut menutup kontaknya yang kemudian mentriapkan PMT.

#### 1.4.7 Koordinasi *setting* waktu pada relai

Dalam koordinasi *setting* waktu pada *Over Current Relay* (OCR) pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.11 Koordinasi *setting* waktu OCR<sup>(5)</sup>

Dapat dilihat bahwa arus yang disetting pada *low set* merupakan *settingan* pada sisi 20 kv (sisi sekunder) sedangkan *settingan* pada *high set* merupakan *settingan* pada sisi 150 kv (sisi primer) . posisi T<sub>1</sub> merupakan *settingan* sisi diferensial transformator T<sub>2</sub> sisi *incoming* dan T<sub>3</sub> sisi penyulang.

Pada koordinasi *setting* diatas yang diatur adalah waktu pemutusan kerja yang dilakukan oleh PMT yang mendapat perintah dari relai OCR. Maksud dari *settingan* waktu *blocked* dan *instant* adalah tidak adanya waktu jeda, jadi apabila terjadi gangguan maka PMT akan bekerja langsung secara otomatis tanpa selang waktu 1 detik pun.